

# ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЗЕРВА ШТАМПУЕМОСТИ ЛИСТОВ ИЗ СПЛАВА АМГ6

*Луконина Н.В., Храмова М.И.*

*Руководитель: доцент Носова Е.А.*

«Самарский государственный аэрокосмический университет имени  
академика С. П. Королёва

(национальный исследовательский университет)» г. Самара,

**lukonina.natalya@inbox.ru**

В работе представлены результаты расчёта температуры и времени выдержки при нагреве холоднокатаных заготовок из сплава АМГ6 для получения определённого размера зерна. Установлены механические и технологические свойства листов после отжига при температуре 420<sup>0</sup>С и выдержках 3, 4 и 6 минут. Проведена проверка теоретических расчётов и полученного рекристаллизованного зерна, которая показала хорошую сходимость теоретических расчётов и экспериментальных данных.

Основной целью работы является исследование режимов получения определённого размера и однородности зерна и их влияния на механические и технологические свойства сплава АМГ6.

Для достижения этой цели в работе необходимо было решить следующие задачи:

1. Рассчитать режим деформирования и отжига для получения заданного размера зерна.
2. Провести холодную прокатку по указанному режиму.
3. Провести термическую обработку.
4. Оценить микроструктуру.

Объектом исследования является сплав АМГ6, который применяется в конструкциях летательных аппаратах.

Химический состав сплава АМГ6, приведен в таблице 1 [1].

Таблица 1 – Химический состав сплава

Fe	Si	Mn	Ti	Al	Cu	Be	Mg	Zn	Примесей
до 0.4	до 0.4	0.5 - 0.8	0.02 - 0.1	91.1 - 93.68	до 0.1	0.0002 - 0.005	5.8 - 6.8	до 0.2	прочие, каждая 0.05; всего 0.1

Предположим, что граница нового зерна образовалась во время отжига деформированного металла. По одну сторону границы лежит деформированное зерно, по другую – рекристаллизованный зародыш в той или иной стадии своего развития. На каждый из атомов границы действуют напряжения – движущие силы миграции границы. В этом случае для описания миграции (дрейфа) границы мы можем использовать выражение,

описывающее подвижность частицы под действием силы  $F$ , рассмотренное нами при анализе поведения вакансий:

$$V = \frac{FD}{kT} = \frac{\sigma_{\partial\partial} s D}{kT} = \frac{\sigma_{\partial\partial} a^2 D}{kT}, \quad (1)$$

где  $F = \sigma_{\partial\partial} s$  – сила, действующая на атом.

Коэффициент диффузии  $D$  находили из справочника [2].

Время рекристаллизации можно вычислить как

$$t = \frac{l}{V} = \frac{RkT}{D\sigma_{\partial\partial} a^2} \quad (2)$$

Обычно все релаксационные процессы в металлах описывают экспоненциальной зависимостью от времени

$$\sigma_{\partial\partial} = \sigma_{\partial\partial 0} \exp\left(-\frac{t}{\lambda}\right) \quad (3)$$

где  $\lambda$  – константа, называемая «временем релаксации». Коэффициент  $\lambda$  находим из графиков зависимости напряжений от скорости деформации (рисунок 1).

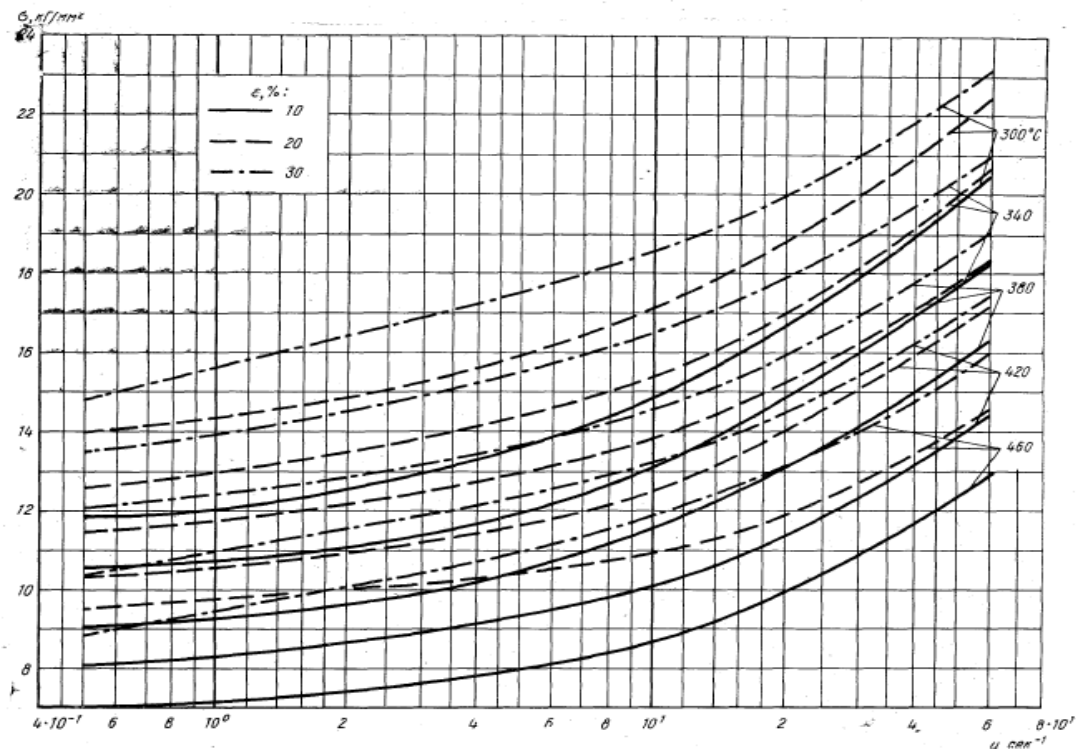


Рисунок 1– График зависимости напряжений от скорости деформации алюминиевого сплава АМг6 [3]

Тогда

$$R = \frac{Da^2}{kT} \int_0^{t_0} \exp(-t/\lambda) dt \quad (4)$$

После интегрирования

$$R = R_{\infty} [1 - \exp(-t/\lambda)] \quad (5)$$

При помощи (7) можно найти время, при котором зерно достигнет заданного размера при известной температуре отжига:

$$t_k = \lambda \ln \left( \frac{R_{\infty}}{R_{\infty} - R_t} \right) \quad (6)$$

Время релаксации для разных температур и степеней обжатия определены из экспонент, построенных по данным рисунка 2. Для экспериментальных точек в программе MicroSoftExcell подбирали линию тренда и к ней – математическую зависимость, имеющую наибольший коэффициент корреляции R<sup>2</sup>.

На рисунке 2 представлен пример такого графика для обжатия 10% и температуры 300°.

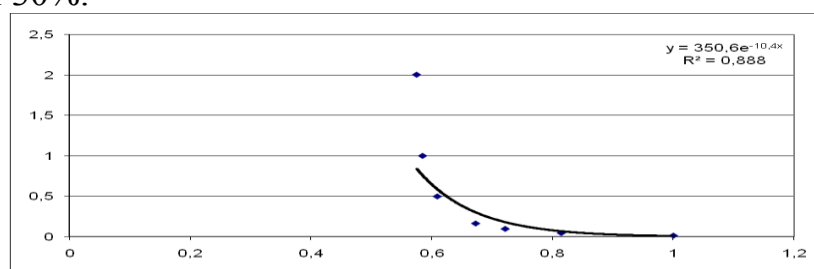


Рисунок 2 – Экспоненциальная кривая для определения времени релаксации  $\lambda$ , степень обжатия  $\epsilon=10\%$ , температура нагрева 300° С

В таблице 2 представлены результаты расчёта времени релаксации для обжатий 10, 20 и 30%.

Таблица 2 – Время релаксации со степенью обжатия  $\epsilon=10\%$ ,  $\epsilon=20\%$ ,  $\epsilon=30\%$ .

$\epsilon$ , %	Температура, T °С	Температура, К	$\lambda$ , сек
10	300	573	7,43
	340	613	7,36
	380	653	5,94
	420	693	5,43
	460	733	3,7
20	300	573	20,7
	340	613	15,5
	380	653	9,9
	420	693	6,4
	460	733	5,8
30	300	573	54
	340	613	38,5
	380	653	28
	420	693	17,3
	460	733	8,6

Толщины, полученные после прокатки карточек, а также относительные обжатия приведены в таблице 3 и 4 соответственно.

Таблица 3 – Абсолютные и относительные обжаты

Абсол.обжатие	Относ. обжатие
0,31	9,393939394
0,65	19,6969697
1	30,3030303
1,36	41,21212121

Таблица 4 – Режимы отжига для сплава АМгб

Образец (режим)			Охлаждение
1	420	3	с печью
2	420	4	с печью
2	420	6	с печью
4	Без отжига		

Результаты оценки предела прочности и предела текучести, относительного удлинения, коэффициента штампуемости представлены на рисунке 4, 5, 6 соответственно.

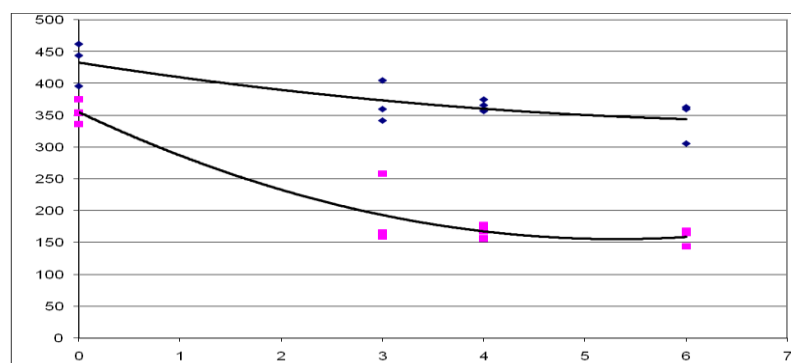


Рисунок 4– Изменение предела прочности и предела текучести в зависимости от продолжительности выдержки

Анализ графиков на рисунке 4 показывает, что увеличение продолжительности выдержки при выбранной температуре отжига снижает показатели прочности. При выдержке 4 минут у обоих показателей прочности величина разброса данных оказалась наименьшей.

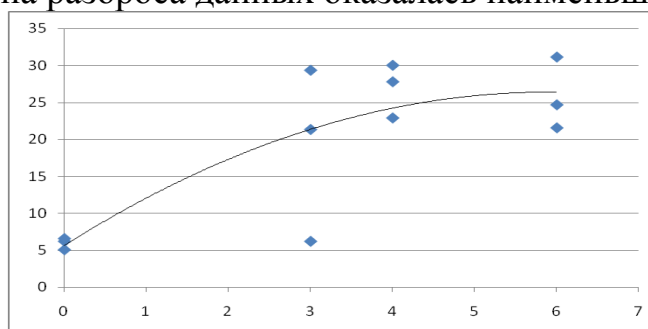


Рисунок 5 –Изменение относительного удлинения в зависимости от продолжительности выдержки

Анализ изменения относительного удлинения (рисунок 5) показывает, что при увеличении времени выдержки величина относительного удлинения возрастает. При выдержке 4 минут величина разброса данных оказалась наименьшей.

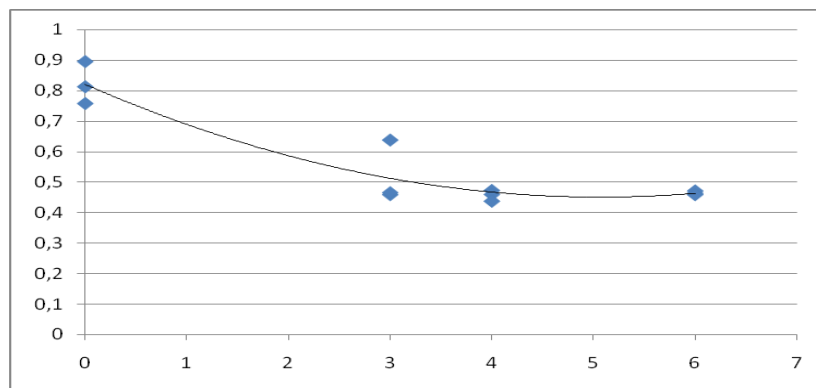


Рисунок 6— Изменение коэффициента штампуемости в зависимости от продолжительности выдержки

Анализ изменения коэффициента штампуемости показывает, что при выдержке 4 минуты величина разброса данных оказалась наименьшей. На рисунке 6 видно, что с увеличением времени выдержки коэффициент штампуемости уменьшается.

Микроструктуру оценивали с помощью оптического металломикроскопа, с 500 кратным увеличением.

На рисунках 7—представлена микроструктура сплава после различных режимов отжига: а) структура сплава, без отжига, х500; б) структура сплава, отжиг 3 мин; в) структура сплава, отжиг 4 мин; г) структура сплава, отжиг 6 мин

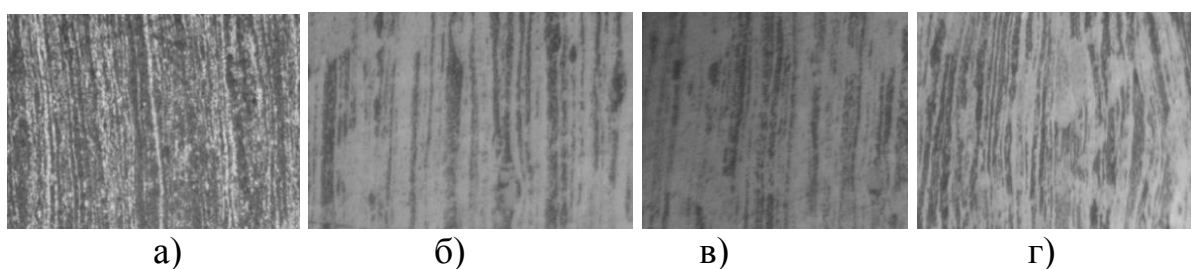


Рисунок 7—микроструктура сплава после различных режимов отжига

Структура сплава после прокатки (рисунок 7а) характеризуется вытянутыми зёрнами, толщина которых составляет 1-4 мкм.

Структура сплава, подвергнутого отжигу в течение 3 минут (рисунок 7б) сохраняет полосчатую структуру прокатки, но на фоне её наблюдаются равноосные зёрна размером около 50 мкм.

Структура сплава, подвергнутого отжигу в течение 4 минут (рисунок 7в) сохраняет полосчатую структуру прокатки, на её фоне наблюдаются равноосные зёрна размером около 50 мкм.

При заданной температуре продолжительности отжига - 6 минут (рисунок 7г) деформируемая структура полностью не устранилась, на её фоне также наблюдаются равноосные зёрна размером около 50 мкм.

Металлографический анализ показал, что зерно размером 50 мкм было получено по рассчитанным режимам, но деформированная структура полностью не устранилась.

В результате проделанной работы было выявлено, что увеличение продолжительности выдержки при выбранной температуре отжига снижает показатели прочности. При выдержке 4 минуты у обоих показателей прочности величина разброса данных оказалась наименьшей.

Анализ изменения относительного удлинения показывает, что при увеличении времени выдержки величина относительного удлинения возрастает.

С увеличением времени выдержки коэффициент штампуемости уменьшается.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ:

- 1 Мондольфо, Л.Ф. Структура и свойства алюминиевых сплавов. Пер. с англ. [Текст]/ Л.Ф. Мондольфо. - М.: Металлургия, 1979. – 640 с.
- 2 Колбасников, Н.Г. Физические основы прочности и пластичности металлов [Текст]/ Н.Г. Колбасников. – СПб.: Издательство СПбГПУ, 2004. – 137 с.
- 3 Пат. 2111826, Российская Федерация, МПК В22D11/04, Способ литья алюминиевых сплавов, алюминиевый сплав и способ производства из него промежуточных изделий [Текст]/ В.М Живодеров. - №96113996; опубл. 27.05.1998. – 3 с.